



بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی صمغ زرد تراوشی از گیاه *Amygdalus scoparia Spach* در منطقه میان‌جنگل استان فارس

هدی خالصی^{۱*} - محمد علیزاده^۲ - محمود رضازاد باری^۲

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۰/۷

تاریخ پذیرش: ۹۱/۶/۱۹

چکیده

صمغ زرد، پلی ساکارید ترشح شده از درخت *Amygdalus scoparia Spach* است. در این مطالعه گرانروی ظاهری صمغ زرد تحت تأثیر غلظت‌های مختلف (۰/۵، ۱/۰، ۲/۰، ۳/۰، ۴/۰ و ۵ درصد وزن بر حجم)، دما (۲۰، ۴۵ و ۷۰ درجه سانتیگراد)، pH (۵، ۸) و غلظت نمک‌های مختلف (۰/۵-۰/۰ مولار) بررسی شد. صمغ زرد از دو جزء محلول و نامحلول تشکیل شده است که به ترتیب خاصیت حل‌پذیری و تورم در آب را دارا هستند. گرانروی صمغ وابسته به تغییرات دما و pH است. بالاترین ویسکوزیته در pH برابر با ۷/۲ و دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد حاصل شد. همچنین گرانروی با حضور الکترولیت‌های قوی تغییر یافت. قابلیت تشکیل امولسیون روغن در آب و پایداری آن با افزایش غلظت صمغ، افزایش یافت. رفتار حرارتی صمغ با رطوبت‌های مختلف توسط دستگاه آنالیز گرماسنج افتراقی (DSC)، مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج نشان داد که پروفایل حرارتی نمونه‌ها گرماگیر است. با توجه به نتایج بدست آمده از صمغ طبیعی و بومی زرد می‌توان گفت که این صمغ افزودنی بالقوه‌ای برای کاربرد در صنعت به عنوان قوام‌دهنده، امولسیفایر و پایدارکننده است.

واژه‌های کلیدی: زرد؛ صمغ تراوشی؛ ویسکوزیته؛ امولسیفایر؛ *Amygdalus scoparia Spach*

مورد استفاده قرار گیرند.

مقدمه

ایران در تولید صمغ‌های طبیعی رتبه چهارم جهان را بر اساس آمارهای ارائه شده از سوی سازمان جهانی خواروبار و کشاورزی^۳ در سال ۲۰۰۸ دارد. زرد صمغ ترش‌چی شفاف‌ی است که از درخت بادام کوهی (*Amygdalus scoparia Spach*) به دست می‌آید و به آن صمغ فارسی و یا صمغ شیرازی نیز می‌گویند (خرمی، ۱۳۸۵). این گونه در ایران پراکندگی بسیار زیادی دارد و پراکنش جغرافیایی این درختچه در استان‌های فارس، چهار محال بختیاری، یزد، کرمان، خراسان، تهران، کردستان، لرستان، کرمانشاه، اراک، ایلام، سیستان و بلوچستان، هرمزگان، بوشهر و خوزستان گزارش شده است (مظفریان، ۱۳۸۳). عوامل مؤثر در درجه‌بندی زرد شامل مواد خارجی و اندازه قطعات است. صمغ زرد با رنگ‌های سفید، زرد روشن تا نارنجی و قرمز یافت می‌شود (استاندارد شماره ۴۴۲، ۱۳۴۶). بهره‌برداری از صمغ زرد سابقه‌ای بسیار دیرینه دارد. بر اساس اطلاعات میزان تولید و برداشت سالیانه زرد به ترتیب حدوداً برابر با ۴۷۰ تن در کل کشور و ۳۴۰ کیلوگرم در هر هکتار گزارش شده است. طبق آمار موجود در

افزودنی‌های غذایی، نقش مهمی در ریزساختار، کیفیت و پایداری محصولات ایفا می‌کند. اصولاً مصرف‌کننده‌ها تمایل بیشتری به افزودنی‌های طبیعی دارند. هیدروکلوئیدها به عنوان تغلیظ‌کننده، عامل ایجاد ژل، پایدارکننده امولسیون و کف، عامل ممانعت‌کننده از رشد و گسترش کریستال‌های یخ و کریستال‌های قندی در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند (فرحناکی و همکاران، ۱۳۸۷). صمغ‌های ترش‌چی از ابتدایی‌ترین و قدیمی‌ترین صمغ‌ها به شمار می‌روند زیرا به آسانی در دسترس بشر بودند و هنوز هم در صنعت کاربرد دارند (Whistler, 1993). مسأله قابل توجه در مورد این هیدروکلوئیدها، خاصیت امولسیفایری آنهاست (Garti, 1999). این خاصیت منحصر به فرد موجب شده که صمغ‌های ترش‌چی علی‌رغم رقابت و جایگزینی توسط سایر هیدروکلوئیدها، هنوز در محصولات مختلف

۱ و ۲- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

*- نویسنده مسئول: (Email: hoda_khalesi@yahoo.com)

آزمون‌های شیمیایی

مقدار رطوبت، خاکستر، خاکستر نامحلول، چربی و پروتئین پودر صمغ زرد طبق استاندارد (AOAC, 2000) اندازه‌گیری شد. ضریب تبدیل ۶/۲۵ برای تعیین پروتئین استفاده گردید. درصد کربوهیدرات نیز از اختلاف مجموع فاکتورهای رطوبت، خاکستر، چربی و پروتئین با ۱۰۰، محاسبه گردید.

حلالیت و قابلیت جذب آب

برای این منظور از روش Betancur-Ancona و همکاران (۲۰۰۳) استفاده شد. دیسپرسیون ۱٪ وزنی-حجمی صمغ زرد تهیه شد و در حمام آب شیکردار با دمای ثابت (۳۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰°C) به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفت و در طول این مدت مرتب هم زده شد. سپس ۳۰ میلی‌لیتر از دیسپرسیون به مدت ۲۰ دقیقه در ۴۶۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. بعد از اتمام عمل سانتریفوژ، سوسپانسیون به دو بخش مایع و جامد متورم شده تقسیم گردید. برای اندازه‌گیری مقدار درصد مواد حل شده ۱۰ میلی‌لیتر از مایع جدا شده، توسط آن در دمای ۱۲۰°C (تا زمان رسیدن به وزن ثابت) خشک شد و قسمت جامد رسوبی در اثر عمل سانتریفوژ نیز به دقت وزن شد. درصد حلالیت و میزان جذب آب با فرمول‌های زیر بدست آمد.

$$\text{حلالیت \%} = \frac{\text{وزن ماده خشک شده} \times 30}{\text{وزن نمونه اولیه}} \times 100$$

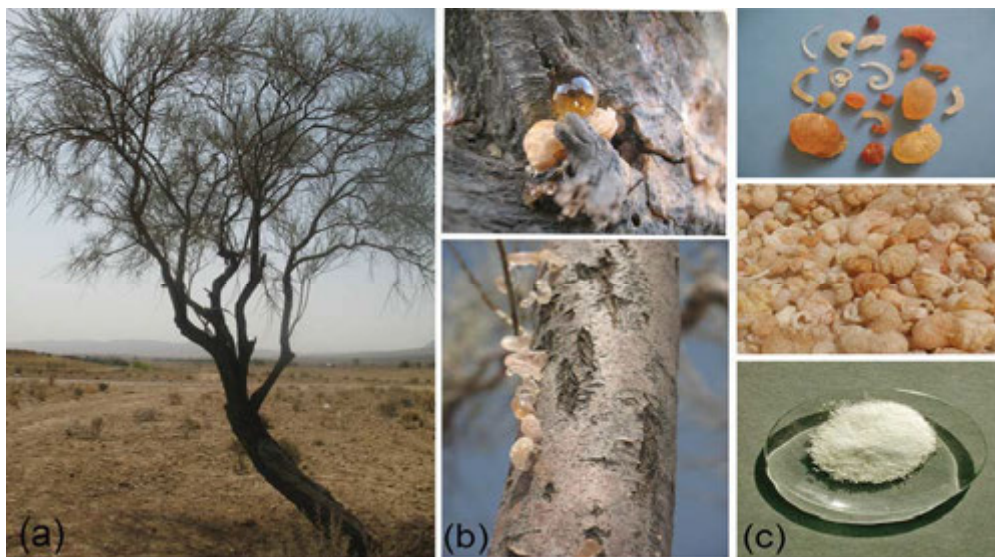
$$\text{وزن نمونه اولیه} - \text{وزن صمغ متورم شده رسوبی} = \text{قابلیت جذب آب}$$

سال ۱۳۷۸، ۲۷ فقره مجوز برای صادرات ۱۰۶۳۹۲۲ کیلوگرم زردو به ارزش هر تن ۱۴۵ دلار از استان‌های مختلف ایران به کشورهای گوناگون صادر شده است. صمغ زردو خواص دارویی مختلفی دارد و از آن برای تحریک اشتها، تسکین سردرد، بهبود سرفه‌های مزمن، رفع دندان درد، خرد کننده سنگ مثانه و ... استفاده می‌شود (عباسی و همکاران، ۱۳۸۷). تعیین خصوصیات ساختاری، شیمیایی و عملکردی صمغ می‌تواند مبنایی برای مقایسه با سایر هیدروکلوئیدها باشد و قابلیت استفاده از آن را برای تولید و توسعه محصولات غذایی نشان می‌دهد. هدف از این مطالعه، انجام یک پژوهش تجربی جهت تعیین ترکیبات شیمیایی و خواص عملکردی صمغ مانند خاصیت امولسیفایری، تعیین رفتار حرارتی و بررسی عوامل مختلف مانند غلظت، pH، دما، نمک بر ویسکوزیته ظاهری صمغ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تهیه صمغ زردو و مواد

صمغ زردو در مرداد ماه ۱۳۸۸ از درخت بادام کوهی (*Amygdalus scoparia Spach*) به کمک کارشناس اداره منابع طبیعی از منطقه میان جنگل نزدیک شهرستان فسا در استان فارس جمع‌آوری شد (شکل ۱). نمونه‌ها به فرم طبیعی به دقت در ظرف‌های پلی‌پروپیلن نگهداری شد و قبل از آزمایش آسیاب و به وسیله الک آزمایشگاهی با مش شماره ۲۰۰، پودر ریز و یکنواختی بدست آمد. صمغ عربی از شرکت شارلو اسپانیا و سایر مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق با درجه خلوص بالا و مخصوص آنالیزهای شیمیایی می‌باشد.



شکل ۱- (a): درخت *Amygdalus scoparia Spach*; (b): صمغ زردو؛ (c): پودر صمغ زردو

میزان کدورت بیشتر باشد، خواص امولسیفایری صمغ نیز بیشتر است.

خصوصیات رفتار حرارتی

رفتار حرارتی صمغ زرد و محلول آن (۱، ۳، ۵ و ۸٪ وزنی - وزنی) توسط دستگاه آنالیز گرماسنج افتراقی^۱ متلر تولدو (نوع 823e، ساخت آمریکا) بررسی شد. نمونه‌ها بین ۱۲-۷ میلی‌گرم در ظرف‌های آلومینیوم کوچک با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ وزن شد و بلافاصله محکم دربندی گردید. محدوده دمایی مورد استفاده از ۵۰°C- تا ۱۵۰°C در فضای حاوی نیتروژن با سرعت حرارت دهی ۱۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه است. از ظرف آلومینیومی خالی برای مرجع دستگاه استفاده شد. داده‌های گزارش شده میانگین نتیجه دو بار تکرار است (; Zohuriaan et al. 2004 ; Mothe et al., 2000 ; Vinoda et al. 2008).

تجزیه و تحلیل آماری

به منظور مطالعه اثر همزمان دما و pH بر ویسکوزیته صمغ زرد روش سطح پاسخ و طرح D-optimal بکار گرفته شد و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آنالیز واریانس استفاده گردید. سطح معنی‌دار مورد استفاده در این مطالعه ۰/۰۵ در نظر گرفته شد و آزمایشات در سه تکرار انجام شدند.

نتایج و بحث

آزمون‌های شیمیایی

اهمیت شناخت خصوصیات شیمیایی صمغ‌ها به این دلیل است که تفاوت ساختار شیمیایی آن‌ها، باعث تفاوت در ویژگی‌های عملکردی می‌شود و بر کارایی و کاربرد آن‌ها تأثیر می‌گذارد. جدول ۱ نشان می‌دهد خصوصیات شیمیایی صمغ زرد در مقایسه با سایر صمغ‌های تراوشی مانند صمغ عربی (Yebeyen et al., 2009)، صمغ کنیرا (زرگران و همکاران، ۱۳۸۷) و صمغ کارایا (Janaki et al., 1998) متفاوت است. این اختلاف بیانگر تفاوت ساختار صمغ‌ها است. تحقیقات گذشته نشان می‌دهند مقدار نیتروژن صمغ‌های ترش‌ی عامل متغیری است که منحصراً با مقدار ترکیبات پروتئینی و آمینواسیدی مرتبط است (Anderson et al., 1988) و بر رفتار جذبی و خاصیت امولسیفایری صمغ تأثیرگذار است (Nakauma et al., 2008).

تعیین ویسکوزیته ظاهری

پودر صمغ به طور تدریجی و پیوسته به آب مقطر که توسط همزن مغناطیسی حالت متلاطم داشت، اضافه شد. به منظور هیدراته شدن، محلول‌های صمغ به مدت ۲ ساعت به طور یکنواخت، هم زده شدند. ویسکوزیته محلول‌های هیدروکلوئیدی معمولاً با گذشت زمان به مقدار بیشینه خود می‌رسند، لذا در این پژوهش تمامی نمونه‌ها پس از یک شب نگره‌داری (حدود ۱۶ ساعت) در دمای اتاق مورد آزمایش قرار گرفتند (Ko'k, 2007 ; Li et al., 2009). برای اندازه‌گیری گرانروی ظاهری نمونه‌ها از دستگاه گرانروی سنج برنامه‌پذیر بروکفیلد (مدل DV-II + Pro، ساخت آمریکا) و اسپیندل‌های شماره ۶۱ تا ۶۴ مدل LV استفاده شد. اندازه‌گیری ویسکوزیته ظاهری در کلیه تیمارها در سرعت چرخشی ۶۰ دور در دقیقه و دمای ۲۰°C، سه بار تکرار شد و میانگین داده‌ها مبنای گزارش قرار گرفتند. برای تنظیم pH های مورد نظر از محلول اسیدکلریدریک و سود ۰/۱ و یا ۰/۵ نرمال و برای تعیین اثر الکترولیت‌ها از محلول‌های نمکی مختلف (در محدوده ۱ تا ۵۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، کلرید پتاسیم، کلرید کلسیم و کلرید منیزیم) استفاده شد.

خواص امولسیفایری

برای این منظور از روش Savary و همکاران (۲۰۰۹) استفاده شد. ابتدا محلول صمغ زرد و عربی در غلظت‌های مختلف (۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱٪ وزنی - وزنی) تهیه و به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شد. سپس برای تهیه امولسیون روغن در آب، ۷ گرم اسانس پرتقال با محلول آبی صمغ‌ها ترکیب و توسط دستگاه هموژنایزر ایکا لابورتکنیک (نوع اولترا تراکس T25، ساخت آلمان) به مدت ۵ دقیقه در ۱۳۵۰۰ دور بر دقیقه هم زده شد. امولسیون تهیه شده به منظور پخش ماکرومولکولها و پایداری سطح بین روغن و آب، به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴°C نگهداری شد. قابلیت تشکیل امولسیون با تعیین کدورت قابل اندازه‌گیری است. به این منظور ۱ میلی‌لیتر از امولسیون با ۱۰۰۰ برابر آب رقیق و میزان جذب آن توسط دستگاه UV-Vis اسپکتروفوتومتر پی جی اینسترومنت (نوع 90⁺ T، ساخت انگلستان) در طول موج ۶۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای تعیین پایداری امولسیون، مقدار کدورت مشابه روش قابلیت تشکیل امولسیون ولی پس از سانتریفوژ کردن نمونه (۵ دقیقه در ۳۰۰۰ دور در دقیقه) اندازه‌گیری شد. مقدار کدورت با فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$T = 2.303 \times A \times D / L$$

در این فرمول T نشان دهنده میزان کدورت بر حسب cm^{-1} ، نماد A بیانگر میزان جذب نمونه در طول موج ۶۵۰ نانومتر، D بیانگر مقدار رقیق‌سازی و L طول مسیر نور از سل شفاف است. هرچه

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی صمغ زرد

ویژگی شیمیایی	صمغ زرد (% وزنی-وزنی)	صمغ عربی (% وزنی-وزنی)	صمغ کتیرا A. floccosus (% وزنی-وزنی)	صمغ کارایا (% وزنی-وزنی)
رطوبت	۹/۴۷۶ ± ۰/۱۵	۱۵	۱۰/۴	۱۶/۵۲
خاکستر کل	۱/۶۲ ± ۰/۰۱	۳/۵۶	۳/۲	۵/۲
خاکستر نامحلول در اسید	۰/۲۳ ± ۰/۰۳	-	-	-
پروتئین	۰/۵ ± ۰/۱	۲/۳۱	۲/۵۹	۱/۲
چربی	۰	-	-	-
کربوهیدرات	۸۸/۴۰۴ ± ۰/۱۸	-	۸۳/۸۱	-

حلالیت و قابلیت جذب آب

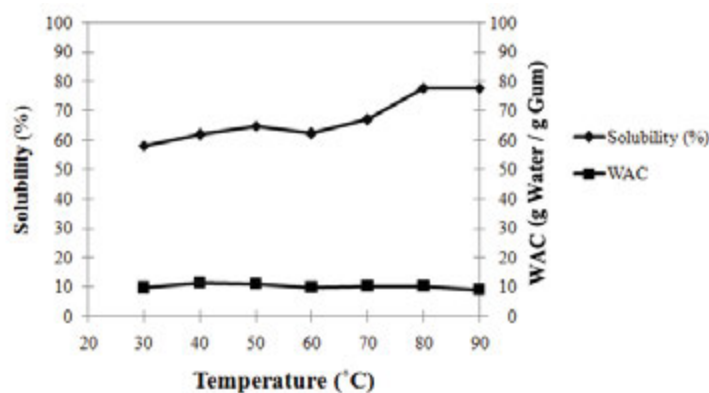
حلالیت صمغ وابسته به تغییرات دما بود و از ۵۸/۰۵ درصد در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد تا ۷۷/۵ درصد در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد افزایش یافت (شکل ۲). این روند می‌تواند در اثر شکسته شدن پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های پلی‌ساکارید و قرار گرفتن در معرض گروه‌های OH آب باشد. به عبارتی افزایش دما منجر به کاهش برهم‌کنش بین زنجیره‌های می‌شود و امکان ایجاد پیوند بین آب و زنجیره پلی‌ساکارید میسر می‌شود (Sciarini *et al.*, 2009). درحالی که قابلیت جذب آب صمغ با تغییرات دما تقریباً ثابت و مقدار آن حدود ۱۰/۲ گرم آب به ازای هر گرم صمغ بود. قابلیت جذب آب صمغ زرد کمتر از مقداری است که برای صمغ زانتان (۲۵/۷۷ گرم آب به ازای هر گرم صمغ) و گوار (۲۷/۳۳ گرم آب به ازای هر گرم صمغ) گزارش شده است (Sciarini *et al.*, 2009) و بیشتر از صمغ دانه کارایا در دمای یکسان است (Galla *et al.*, 2010).

تعیین ویسکوزیته

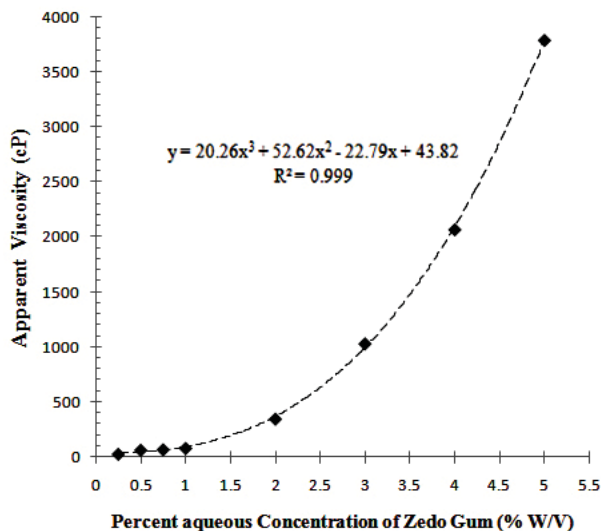
تأثیر غلظت: ویسکوزیته مهمترین عامل در ارزیابی کیفیت صمغ زرد است. همان‌طور که قابل انتظار بود با افزایش غلظت صمغ،

ویسکوزیته ظاهری محلول صمغ زرد افزایش یافت (شکل ۳). مقدار تغییرات ویسکوزیته ظاهری در غلظت‌های کمتر از ۱ درصد (وزن بر حجم)، ناچیز بود ولی در غلظت‌های بالاتر، مقدار ویسکوزیته افزایش یافت و تغییرات آن قابل توجه بود. به عبارت دیگر مولکول‌ها در محلول رقیق هیدروکلئید به صورت آزادانه و مستقل، بدون درگیری با یکدیگر در حال حرکت و جابجایی هستند. درحالی که در غلظت‌های بالاتر، تجمع مولکول‌ها و تعداد زیاد آن‌ها در واحد حجم باعث برخورد، درگیری و هم‌پوشانی آن‌ها با یکدیگر شده و همین‌امر باعث افزایش ویسکوزیته محلول می‌شود (فرحناکی و همکاران، ۱۳۸۷).

ویسکوزیته ظاهری محلول صمغ زرد در مقایسه با صمغ کتیرا، کارایا و زانتان در غلظت یکسان، کمتر و در مقایسه با صمغ گاتی و عربی بیشتر است (Whistler, 1993; Glicksman, 1969). این اختلاف می‌تواند به دلیل تفاوت ساختار مولکولی صمغ‌ها باشد؛ بطوری که اگر شکل مولکولی صمغ، خطی و خشک (غیرقابل انعطاف) باشد، حجم هیدرودینامیک بالایی دارد و سبب ایجاد ویسکوزیته و سودوپلاستیسیته بیشتر در صمغ می‌شود (Vardhanabhuti *et al.*, 2006).



شکل ۲- تأثیر دما بر میزان حلالیت و قابلیت جذب آب صمغ زرد



شکل ۳- تأثیر غلظت بر ویسکوزیته ظاهری محلول صمغ زدو (۶۰ rpm، ۲۰ °C)

همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است با افزایش pH تا حدود ۷/۲، ویسکوزیته ظاهری محلول زدو افزایش و سپس به تدریج کاهش یافت. این رفتار ممکن است در اثر ایجاد نیروهای دافعه الکتروستاتیک توسط گروه‌های عامل موجود در ساختار صمغ باشد که تمایل به حفظ ساختار گسترده‌تر مولکول دارند، در نتیجه گرانشی محلول افزایش می‌یابد (Launay *et al.*, 1986). نتایج تحقیقات گذشته در مورد صمغ کتیرا (عباسی و رحیمی، ۱۳۸۴)، عربی (Williams *et al.*, 2000b)، کارایا، گالاتومانان، کربوکسی متیل سلولز (Koocheki *et al.*, 2009) و موسیلاژ سنگاب سبز^۴ (Huei Chen *et al.*, 2001) نیز رفتار مشابهی را گزارش کردند. در مقابل ویسکوزیته برخی صمغ‌ها مانند زانتان (Sworn, 2000) و متیل سلولز (Murray, 2000) با کاهش pH، ثابت باقی می‌ماند.

تأثیر نمک‌های مختلف: نمک‌های کلرید سدیم، کلرید پتاسیم و کلرید منیزیم بر ویسکوزیته ظاهری محلول صمغ زدو تأثیر گذاشتند (شکل ۵) و با افزایش غلظت نمک، ویسکوزیته محلول کاهش یافت. به نظر می‌رسد افزودن نمک منجر به تشکیل پیوند بین بارهای مخالف یون‌ها و مولکول‌های پلیمر می‌شود. در اثر خنثی شدن گروه‌های باردار زنجیره پلیمری، نیروی دافعه الکتروستاتیکی کاهش می‌یابد و ساختار پلی‌ساکارید به حالت زنجیره انعطاف‌پذیر در می‌آید و ویسکوزیته کاهش می‌یابد (Koocheki *et al.*, 2009). نمک‌های کلرید سدیم و کلرید پتاسیم بر ویسکوزیته محلول صمغ تأثیر یکسانی دارند و نسبت به کلرید منیزیم کاهش ویسکوزیته بیشتر است.

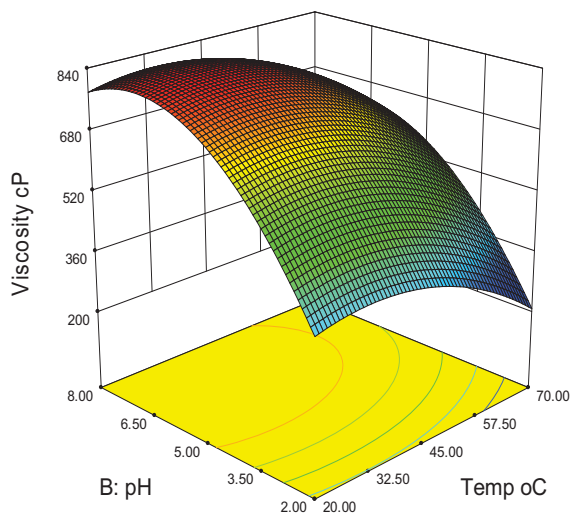
تأثیر دما و pH: شکل ۴ نشان می‌دهد دما و pH بر ویسکوزیته محلول صمغ زدو تأثیر زیادی دارند. آنالیز داده‌های آزمایش مشخص کرد ویسکوزیته ظاهری نمونه‌ها با مدل زیر قابل تخمین است. مقادیر ضریب تبیین، ضریب تبیین تعدیلی و ضریب تبیین پیش‌بینی مدل به ترتیب ۰/۹۹۰، ۰/۹۸۶ و ۰/۹۷۵ بدست آمد.

$$\text{Viscosity} = -19.823 \text{ pH}^2 - 0.140 \text{ Tem}^2 + 263.193 \text{ pH} + 9.013 \text{ Tem} - 181.508$$

بعد از اتمام عمل حرارت‌دهی، در طی سرد شدن ویسکوزیته محلول تقریباً به حالت اولیه خود برگشت که نشان‌دهنده عدم تخریب ساختار مولکولی صمغ در اثر اعمال حرارت است. افت ویسکوزیته در اثر دما به علت افزایش انرژی جنبشی مولکول‌ها در طی حرارت‌دهی است که برهم‌کنش بین مولکول‌ها را ضعیف‌تر و کمتر می‌کند. در نتیجه محلول در مقابل جریان، مقاومت کمتری نشان می‌دهد (Hassan *et al.*, 1998؛ Sciarini *et al.*, 2009). مطالعات قبلی نیز بر روی صمغ کتیرا (عباسی و رحیمی، ۱۳۸۴)، کارایا (Whistler, 1993)، پکتین، کاراژینان (Marcotte *et al.*, 2001)، گالاتومانان (Wielinga, 2000)، موسیلاژ آلیسوم هومولوکارپوم^۱ (Koocheki *et al.*, 2009) و صمغ برگ درخت مونوی^۲ (Vardhanabhuti *et al.*, 2006) روند مشابهی را گزارش کرده‌اند. درحالی‌که گزارش شده است ویسکوزیته ظاهری صمغ زانتان (Sworn, 2000) و نشاسته سیب‌زمینی شیرین^۳ (Mali *et al.*, 2003) در طول تیمار حرارتی تغییری نکرده و تقریباً ثابت باقی می‌ماند.

- 1- Alyssum homolocarpum mucilage
- 2- monoi (Cissampelos pareira) leaves hydrocolloid
- 3- yam (Dioscorea alata) starch

4- green laver



شکل ۴- تأثیر دما و pH بر ویسکوزیته ظاهری محلول صمغ زرد (۶۰ rpm، ۲۰ °C، غلظت w/v ۲٪)

در هیدروکلوئیدها محسوب می‌شود. به طور متعارف قابلیت تشکیل امولسیون صمغ‌ها، وابسته به فعالیت سطحی مولکول آن‌ها است که توانایی کاهش کشش سطحی را دارند (Munoz, 2007). حدس زده می‌شود این صمغ‌ها در ساختارشان دارای قسمت‌ها یا گروه‌های عاملی هیدروفوب کافی هستند که سبب تسهیل جذب ضعیف صمغ بر روی سطح فاز روغن می‌شوند. (Garti *et al.*, 1999). محمدی و همکاران (۱۳۸۹) نیز در تحقیقات خود بر روی پایداری فیزیکی مخلوط شیر- آب پرتقال گزارش کردند بخش محلول صمغ زرد در زمره هیدروکلوئیدهای آنیونی است که جذب سطح کازئین‌ها می‌شود و از طریق دافعه فضایی و الکتروستاتیک از تجمع ذرات کازئین جلوگیری می‌کند. از طرفی پایداری امولسیون حاصل از صمغ زرد بیشتر از پایداری امولسیون تشکیل شده از صمغ عربی بود (شکل ۶). پایداری امولسیون صمغ‌ها نیز به دلیل تغییر خصوصیات رئولوژی محلول است. به گونه‌ای که از به هم پیوستن^۲ و درهم آمیختن^۳ قطرات روغن ممانعت می‌کند (Sciarini *et al.*, 2009; 2003; Dickinson, 2003).

مطالعه رفتار حرارتی

دستگاه آنالیز گرماسنج افتراقی (DSC)، ابزار فیزیکی قدرتمندی برای بازبینی تغییرات فیزیکوشیمیایی ماده در طی فرایند حرارتی در اتمسفر خنثی است (Mothe *et al.*, 2000).

اثر نمک کلرید کلسیم بر ویسکوزیته محلول متفاوت است. به گونه‌ای که تا غلظت ۰/۱ مولار منجر به کاهش ویسکوزیته ظاهری (از ۳۴۵ تا ۹۹/۳ سنتی‌بواز) شد؛ درحالی‌که در غلظت‌های بیشتر از ۰/۱ مولار، ویسکوزیته افزایش یافت. در مورد توجیه این رفتار شاید بتوان گفت در حضور مقادیر زیاد نمک، Ca^{+2} منجر به برهم کنش بین زنجیره‌های مولکول‌های صمغ می‌شود و در نتیجه ویسکوزیته افزایش می‌یابد (Koocheki *et al.*, 2009).

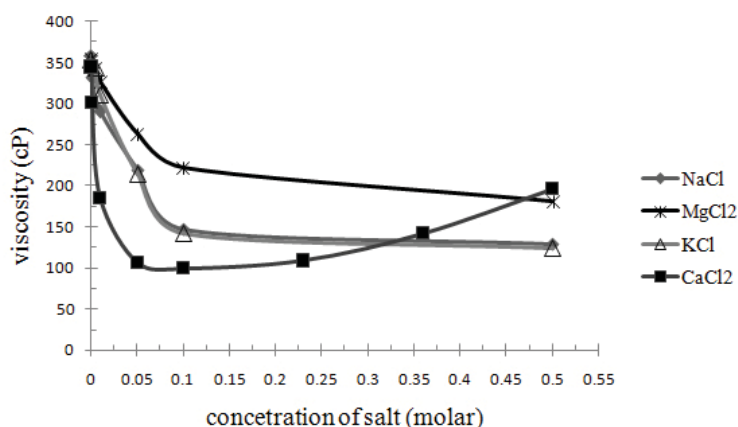
اثر نمک بر ویسکوزیته صمغ‌های مختلف مورد بررسی واقع شده است. ویسکوزیته محلول صمغ زانتان، گالاتومانان و هیدروکسی- پروپیل‌متیل سلولوز با اضافه شدن نمک تغییر نمی‌کند (Williams *et al.*, 2000a). در عوض ویسکوزیته محلول صمغ عربی، کارایا، کتیرا (Whistler, 1993)، کربوکسی متیل سلولوز و محلول رقیق پکتین (Nussinovitch, 1997; Rolin, 1993) با اضافه کردن نمک کاهش می‌یابد. درحالی‌که با افزایش غلظت نمک، ویسکوزیته محلول موسیلاژ خردل زرد^۱ (Cui *et al.*, 1992) و هیدروکلوئید برگ مونوی (Vardhanabhuti *et al.*, 2006) افزایش می‌یابد.

خاصیت امولسیفایری

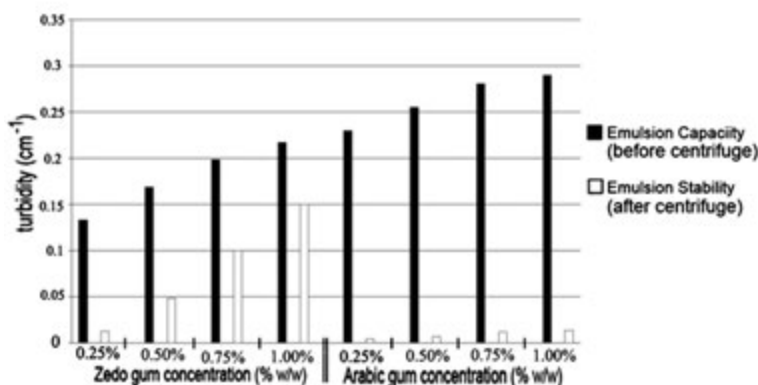
شکل ۶ نشان می‌دهد صمغ زرد قابلیت تشکیل امولسیون و پایداری آن را داراست و این ویژگی‌ها با افزایش غلظت صمغ، افزایش یافت. هرچند قابلیت تشکیل امولسیون صمغ زرد کمتر از صمغ عربی بود ولی مقدار آن قابل توجه است؛ زیرا صمغ عربی امولسیفایر مهمی

2- Coalescence
3- Flocculation

1- Yellow mustard (*Sinapis alba* L.) mucilage



شکل ۵- تأثیر نمک بر ویسکوزیته ظاهری محلول صمغ زرد (۶۰ rpm، ۲۰ °C، غلظت ۲٪ w/v)



شکل ۶- توانایی تشکیل امولسیون و میزان پایداری امولسیون حاصل از صمغ زرد و عربی در غلظت‌های مختلف

مختلف در صمغ‌های پلی‌ساکاریدی بر رفتار حرارتی آنها تأثیرگذار هستند و با میزان ماهیت آبدوستی گروه‌های عملکردی پلیمر مربوطه مطابقت دارد.

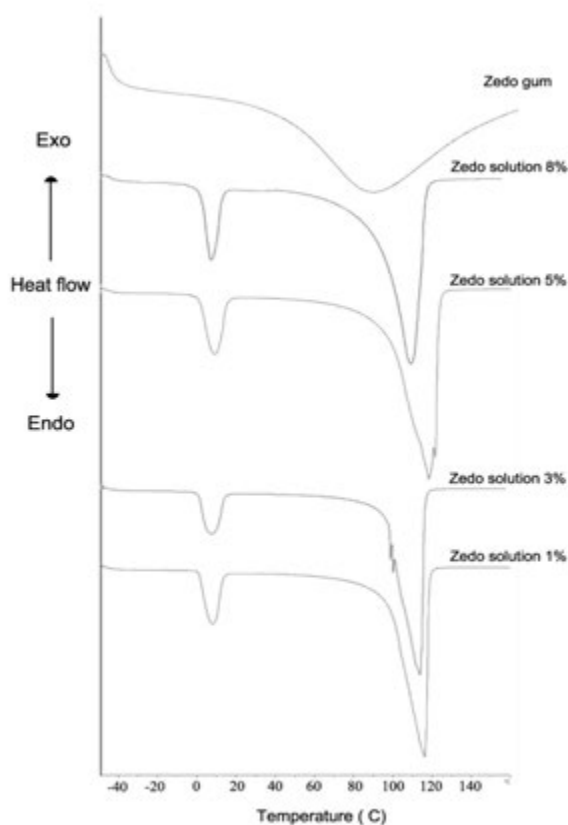
با افزایش غلظت دیسپرسیون صمغ زرد (۱ تا ۸ درصد وزن بر وزن)، میزان تغییرات آنتالپی دمای ذوب آب کاهش یافت. با توجه به اینکه روند دمایی ترموگرام‌های حاصل از دیسپرسیون صمغ زرد مشابه سایر مواد و هیدروکلوئیدهای مهم تشکیل‌دهنده ژل نیست (دمای ابتدایی، بیشینه و نهایی پیک‌های ترموگرام در فاصله دمایی رایج ۲۰ تا ۹۰ درجه سانتیگراد قرار نگرفته است) می‌توان استدلال کرد که این صمغ علی‌رغم قابلیت جذب آب و ایجاد محلول ویسکوز، خواص ژل حقیقی را از خود نشان نمی‌دهد و توانایی تشکیل شبکه ژلی محکم و پایدار را ندارد. البته بایستی ذکر کرد که امکان ایجاد ژل توسط صمغ زرد نیاز به تحقیقات و بررسی بیشتر در شرایط متفاوت دیگر از جمله pH های مختلف، حضور یون یا شکر، روند حرارت دهی گوناگون و ... دارد.

این آزمایش در مورد صمغ‌ها بر پایه این فرضیه است که تنها آب آزاد^۱ قابلیت یخ زدن را دارد. بنابراین زمانیکه مقدار حرارت مورد نیاز برای گرم کردن جسم منجمد اندازه‌گیری می‌شود نشان‌دهنده میزان انرژی مورد نیاز برای ذوب شدن آب آزاد است. به عبارتی روش تجزیه و تحلیل حرارتی تاییدکننده حضور آب باند شده در ماده است (Phillips *et al.*, 2003). نمودارهای آنالیز گرماسنج افتراقی حاصل از صمغ زرد و محلول‌های آن، رفتار گرماگیر را نشان می‌دهند (شکل ۷ و جدول ۲) که بیانگر تشکیل یک سیستم منظم و پایدار است. منحنی‌های بدست آمده در این پژوهش برای صمغ زرد و نتایج بدست آمده از تحقیقات ظهوریان و همکاران در سال ۲۰۰۴ در مورد صمغ‌عربی، کتیرا، زانتان، سدیم آلژینات، کیتوزان و کربوکسی متیل سلولز نشان می‌دهد ترموگرام آنالیز گرماسنج افتراقی هر نوع صمغ منحصر به فرد می‌باشد. ساختار شیمیایی و گروه‌های عملکردی

1- Free water

جدول ۲- ویژگی ترموگرام‌های DSC صمغ زدو و غلظت‌های مختلف محلول آن

تغییر آنتالپی (ژول بر گرم)	دما (°C)			شماره تغییر آنتالپی	نمونه (% وزنی - وزنی)
	پیک	ابتدایی	نهایی		
۲۵۶/۸۸	۱۵۰/۰۵	۹۰/۲۳	۴۳/۱۶	۱	صمغ زدو
۲۰۵/۹۷	۱۳/۶	۶/۵۵	-۳/۱۲	۱	محلول زدو ۸%
۱۴۴۸	۱۲۲/۵	۱۰۹/۸۵	۴۲	۲	
۲۴۳	۱۴/۸۶	۷/۸۳	-۱/۴	۱	محلول زدو ۵%
۱۷۲۳/۰۸	۱۲۴	۱۱۸	۵۹/۵	۲	
۲۹۰/۱۱۲	۱۴/۸۳	۶/۱۶	-۰/۷۸	۱	محلول زدو ۳%
۱۹۴۷/۸۷	۱۲۰	۱۱۶/۶	۶۱	۲	
۳۰۲/۴۸	۱۸/۸۶	۶/۳۲	-۰/۹۴	۱	محلول زدو ۱%
۱۹۸۸/۷۸	۱۲۴/۸	۱۱۷/۲۳	۶۱	۲	



شکل ۷- نمودار DSC صمغ زدو و غلظت‌های مختلف محلول آن

است و در آب متورم و سبب ایجاد قوام مایع می‌شود. حلالیت این صمغ وابسته به تغییرات دما است و مقدار آن از ۵۸/۰۵ درصد در دمای ۳۰°C تا ۷۷/۵ درصد در دمای ۹۰°C افزایش یافت. به طور کلی

نتیجه‌گیری

صمغ زدو دارای دو جزء است. بخشی در آب حل شده و باعث ایجاد محلول کلوئیدی آبی می‌شود و در مقابل بخش دوم نامحلول

بودن، کاربرد صمغ زرد را در صنایع غذایی امکانپذیر می‌کند.

قدردانی

از راهنمایی و همکاری آقای مهندس محمدرضا موحدپور، آقای دکتر افشین موحدپور و همکاران ایشان در بخش تحقیق و توسعه شرکت‌های دنا امولسیون و اهورا دارو و آقای دکتر حسن زاده مسئول مرکز تحقیقات نانوفناوری دانشگاه ارومیه جهت انجام این پژوهش سپاسگزاری می‌کنم.

گرانروی ظاهری صمغ زرد با افزایش غلظت و pH (تا حدود ۷/۲)، افزایش و با افزایش دما و یا حضور نمک (در محدوده ۰ تا ۰/۱ مولار نمک‌های کلرید سدیم، کلرید پتاسیم، کلرید کلسیم و کلرید منیزیم) کاهش یافت. این صمغ توانایی تشکیل و پایدارکنندگی امولسیون را داراست. نمودارهای حرارتی بدست آمده از آنالیز گرماسنج افتراقی صمغ زرد و محلول‌های آن گرماگیر هستند. انتخاب و استفاده از صمغ‌ها، مستلزم شناخت خصوصیات عملکردی آنهاست و نتایج این مطالعه نشان می‌دهد صمغ زرد قوام‌دهنده، امولسیفایر و پایدارکننده امولسیون است. علاوه بر خصوصیات عملکردی، طبیعی بودن آن، اطمینان از دسترسی یا بازار تأمین و توجیه اقتصادی بومی

منابع

- استاندارد ملی صمغ شیرازی (زدو)، شماره ۴۴۲، ۱۳۴۶، کرج: موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.
- زرگران، ع. محمدی، فر. م. بلاغی، س.، ۱۳۸۷، مقایسه برخی ترکیبات شیمیایی و ویژگی‌های رئولوژیک صمغ کتیرای ایرانی تراویده از دو گونه *A. floccosus* و *A. rahensis*، *مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران*. سال سوم، جلد ۴، ص ۱۷-۹.
- خرمی، ب.، ۱۳۸۵، زدو- صمغ فارسی، *ماهنامه دام، کشت و صنعت*، جلد ۷، شماره ۸۰، ص ۲۳.
- عباسی، س. رحیمی، س.، ۱۳۸۴، بررسی تأثیر غلظت، دما، پ هاش و سرعت چرخشی روی رفتار جریان محلول صمغ کتیرای ایرانی، *فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران*، جلد ۲، شماره ۴، ص ۴۲-۲۹.
- عباسی، س. رحیمی، س.، ۱۳۸۷، معرفی یک نوع صمغ گیاهی بومی ناشناخته: صمغ زرد. *ماهنامه صنعت آرد و غذا*. جلد ۴، شماره ۱۳، ص ۵۱-۴۶.
- فرحناکی، ع.، مجذوبی، م. مصباحی، غ.، ۱۳۸۷، خصوصیات و کاربردهای هیدروکلوئیدها در مواد غذایی و دارویی، تهران: نشر علم کشاورزی ایران، ص ۱-۲۴.
- محمدی، س.، عباسی، س. حمیدی، ز.، ۱۳۸۹، تأثیر برخی هیدروکلوئیدها بر پایداری فیزیکی، ویژگی‌های رئولوژیکی و حسی مخلوط شیر- آب پرتقال، *مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران*، جلد ۵، شماره ۴، ص ۱۲-۱.
- مظفریان، و.، ۱۳۸۳. درختان و درختچه‌های ایران. انتشارات فرهنگ معاصر. ص ۶۶۱
- Anderson, D. M. W. and Andon, S. A., 1988, Water-soluble food gums and the role in product development. *Cereal Foods World*, 33, 844-850.
- AOAC Association of Official Analytical Chemists, 2000, Official Methods of Analysis (17th ed.), Washington, DC: AOAC, USA.
- Betancur-Ancona, D., Lo'pez-Luna, J. and Chel-Guerrero, L., 2003, Comparison of the chemical composition and functional properties of Phaseolus lunatus prime and tailing starches. *Food Chemistry*, 82, 217-225.
- Cui, W. and Eskin, N. A. M., 1992, Chemical and physical properties of yellow mustard (*Sinapis alba* L.) mucilage. *Food Chemistry* 46, 169-176.
- Dickinson, E., 2003, Hydrocolloids at interfaces and the influence of the properties of dispersed systems. *Food Hydrocolloids*, 17, 25-39.
- Galla, N. R. and Dubasi, G. R., 2010, Chemical and functional characterization of Gum karaya (*Sterculia urens* L.) seed meal. *Food Hydrocolloids*, 24, 479-485.
- Garti, N., 1999, What can nature offer from an emulsifier point of view: trends and progress? *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 152, 125-146.
- Glicksman, M., 1969, Gum technology in the food industry. Academic Press, New York, chapter 4, 94-129.
- Hassan, B. H. and Hobani, A. I., 1998, Flow properties of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract. *Journal of Food Engineering*, 35, 459-470.
- Huei Chen, R. and Yuu Chen, W., 2001, Rheological properties of the water-soluble mucilage of a green laver, *Monostroma nitidium*. *Journal of Applied Phycology*, 13, 481-488.
- Janaki, B. and Sashidhar, R. B., 1998, Physico-chemical analysis of gum kondagogu (*Cochlospermum gossypium*): a potential food additive. *Food Chemistry*, 61, 231-236.
- Ko'k, M. S., (2007). A comparative study on the compositions of crude and refined locust bean gum: In relation to

rheological properties, *Carbohydrate Polymers*, 70, 68–76.

Koocheki, A., Mortazavi, S. A., Shahidi, F., Razavi, S. M. A., and Taherian, A. R., (2009). Rheological properties of mucilage extracted from *Alyssum homolocarpum* seed as a new source of thickening agent. *Journal of Food Engineering*, 91, 490–496.

Launay, B., Doubiler, I., and Cavalier, G., (1986). Flow properties of aqueous solution and dispersions of polysaccharides. In: J. A. Mitchell (Ed.), *Functional Properties of Food Macromolecules* (pp. 1–78). New York: Elsevier Applied Science Publishers.

Li, X., Fang, Y., Al-Assaf, S., Phillips, G. O., Nishinari, K. and Zhang, H. (2009). Rheological study of gum arabic solutions: Interpretation based on molecular self-association. *Food Hydrocolloids*, 23, 2394–2402.

Mali, S., Ferrero, C., Redigonda, V., Beleia, A. P., Grossmann, M. V. E., and Zartzy, N. E., 2003, Influence of pH and hydrocolloids addition on yam (*Dioscorea alata*) starch pastes stability. *Lebensmittel- Wissenschaft Und-Technologie*, 36, 475– 481.

Marcotte, M., Taherian, A. R. and Ramaswamy, H. S., 2001, Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. *Food Research International*, 34, 695–704.

Mothe, C. G. and Rao, M. A., 2000, Thermal behavior of gum arabic in comparison with cashew gum. *ThermochimicaActa*, 357, 9-13.

Munoz, J., Rinco'n, F., Alfaro, M., Zapata, I., Fuente, J., Beltra'n, O. and Pinto, G., 2007, Rheological properties and surface tension of *Acacia tortuosa* gum exudate aqueous dispersions. *Carbohydrate Polymers*, 70, 198–205.

Murray, J. C. F., 2000, Cellulosics. In G. O., Phillips and P. A., Williams (Eds.), *Handbook of hydrocolloids*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, chapter 12.

Nakauma, M., Funami, T., Noda, S., Ishihara, S., Al-Assaf, S., Nishinari, K. and Phillips, G., 2008, Comparison of sugar beet pectin, soybean soluble polysaccharide, and gum arabic as food emulsifiers I. Effect of concentration, pH and salts on the emulsifying properties. *Food Hydrocolloids*, 22, 1254–1267.

Nussinovitch, A., 1997, *Hydrocolloid applications: Gum technology in the food and other industries*. Blackie Academic and Professional, London, 124.

Phillips, G. O., Plessis, T. A. D., Saphwan Al-Assaf and Williams, P. A., 2003, Biopolymers obtained by solid state irradiation in an unsaturated gaseous atmosphere, (ed. U. S. Patent), Phillips Hydrocolloid Research limited, UK. Vol. 6, 610, 810.

Rolin, C., 1993, Pectin, In R. L., Whistler and J. N., BeMiller (Eds.), *Industrial gums: Polysaccharides and their derivatives*, Academic Press, Inc., London, chapter 10, 429–459.

Savary, G., Hucher, N., Bernadi, E., Grisel, M. and Malhiac, C., 2009, Relationship between the emulsifying properties of *Acacia* gums and the retention and diffusion of aroma compounds. *Food Hydrocolloids*, ARTICLE IN PRESS.

Sciarini, L. S., Maldonado, F., Ribotta, P. D., Pe'rez, G. T. and Leo'n, A. E., 2009, Chemical composition and functional properties of *Gleditsia triacanthos* gum. *Food Hydrocolloids*, 23, 306–313.

Sworn, G., 2000, Xanthan gum, In G. O., Phillips and P. A., Williams (Eds.), *Handbook of hydrocolloids*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, chapter 6, 103–116.

Vardhanabhuti, B. and Ikeda, S., 2006, Isolation and characterization of hydrocolloids from monoi (*Cissampelos pareira*) leaves. *Food Hydrocolloids*, 20, 885–891.

Vinoda, V. T. P., Sashidhar, R. B., Sureshc, K. I., RamaRaoc, B., VijayaSaradhi, U. V. R., PrabhakarRaoc, T., 2008, Morphological, physico-chemical and structural characterization of gumkondagogu (*Cochlospermum gossypium*): A tree gum from India. *Food Hydrocolloids*, 22, 899–915

Whistler, R. L., 1993, Exudate gums. In R. L., Whistler and J. N., Bemiller (Eds.), *Industrial gums, polysaccharides and their derivatives* (3rd ed.), Academic Press, Inc., London, chapter 12, 309-339.

Wielinga, W. C., 2000, Galactomannans. In G. O., Phillips and P. A., Williams (Eds.), *Handbook of hydrocolloids*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, chapter 8.

Williams, P. A. and Phillips, G. O., 2000a, Introduction to food hydrocolloids. In G. O., Phillips, and P. A., Williams (Eds.), *Handbook of hydrocolloids*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, chapter 1.

Williams, P. A., and Phillips, G. O., 2000b, Gum arabic. In G. O., Phillips and P. A., Williams (Eds.), *Handbook of hydrocolloids*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, chapter 9.

Yebeyen, D., Lemenih, M. and Feleke, S., 2009, Characteristics and quality of gum arabic from naturally grown *Acacia senegal* (Linne) Willd trees in the Central Rift Valley of Ethiopia. *Food Hydrocolloids*, 23, 175–180.

Zohuriaan, M. J. and Shokrolahi, F., 2004, Thermal studies on natural and modified gums. *Polymer Testing*, 23, 575–579.